

Mahalanobis・Taguchi Systemによる新たな医学部成績評価法の検討

上 竹 慎一郎¹ 中 島 尚 登² 矢 野 耕 也³
木 村 直 史⁴ 長 澤 薫 子² 小 林 英 史²
安 部 一 之² 高 木 一 郎¹ 横 田 邦 信²

¹ 東京慈恵会医科大学内科学講座消化器・肝臓内科

² 東京慈恵会医科大学附属病院医療保険指導室

³ 日本大学生産工学部マネジメント工学科

⁴ 東京慈恵会医科大学医学教育センター医学教育研究室

(受付 平成 23 年 11 月 7 日)

EXAMINATION OF A NEW RATING SYSTEM FOR MEDICAL STUDENT RESULTS USING THE MAHALANOBIS・TAGUCHI SYSTEM

Shinichiro UETAKE¹, Hisato NAKAJIMA², Kouya YANO³
Naofumi KIMURA⁴, Kaoko NAGASAWA², Eiji KOBAYASHI²
Kazuyuki ABE², Ichiro TAKAGI¹, Kuninobu YOKOTA²

¹Division of Gastroenterology and Hepatology, Department of Internal Medicine, The Jikei University School of Medicine.

²Department of Medical Insurance Instruction, The Jikei University Hospital.

³Department of Industrial Engineering and Management, College of Industrial Technology, Nihon University.

⁴Division of Medical Education Laboratory, Department of Medical Education Center, The Jikei University School of Medicine.

The aim of this study was to correct evaluation for the students' efforts in every subject. Because evaluation on the basis of conventional addition score is insufficient, the possibility of using other factors was examined. In this study, the Recognition Taguchi (RT) method, to which a correlation was added, was used. The unit space of RT method was established with 4 high-achieving students more than 85% of goal averages. The results of 93 students were evaluated with the Mahalanobis distance (D^2). The D^2 was normalized (A) using the mean of unit space. Between the addition score (B) and A , the coefficient of correlation was -0.927 . The correlation between B and the reciprocal of A was 0.933 . The coefficient of correlation of $\text{Log } B$ and A was -0.835 . The coefficient of correlation of $1/\text{Log } B$ and A was 0.936 and was higher. Our results suggest the Possibility of scholastic evaluation with the RT method.

(Tokyo Jikeikai Medical Journal 2012;127:91-103)

Key words: Mahalanobis・Taguchi method, Recognition Taguchi method, Two sided Taguchi method, Mahalanobis distance, evaluation of student results

I. 緒 言

我が国における成績評価の基準¹⁾として、従来、他の学習者と成績を比較し、学習集団内でどの程度の順位にあるか、による相対評価が用いられてきた。しかしながら2000年代になり、個人の成

績そのものを単独で評価する絶対評価が多く用いられている。また、医学部における進級試験は、口頭試問や論文作成の比率は少なく、医師国家試験に準じて多肢選択問題方式を多く採用し、その採点結果を絶対数として加算的に集計し、採点結果を学生の成績としている。このような試験では、

総合評価は採点点数の合計であり、科目毎の成績の偏りや科目間の相関は評価に組み入れられない。すなわち、科目間の成績に偏りのある学生も、偏りの少ない学生も同等に評価されている。採点点数の加算得点による評価は歴史が古く、一般的評価法¹⁾として確立されている。しかしながら加算得点のみの評価では、学生の努力等を加味した評価としては限界が認められるため、医師国家試験では、面接試験も検討されている。

そこで我々は、少しでも学生の科目毎の努力に対する評価を是正し、加算得点では不十分な他の要因も加味した評価が可能であるか検討した。各科目の採点点数の絶対数の和による従来の順位評価ではなく、各科目の点数の相関関係をすべて加味して評価可能な、品質工学の手法であるMahalanobis・Taguchi system²⁾の中の、Mahalanobis・Taguchi (MT) 法、Recognition Taguchi (RT) 法、および両側Taguchi (T) 法を用いた。

成績評価法の一つとして、高田ら³⁾は、プログラミングの適性能力評価にMT法を用いている。また鈴木ら⁴⁾は、普通のプログラムを行った作成者でMT法における単位空間を作成し、良いプログラムの作成者と悪いプログラムの作成者をMT法で分けて評価を行っている。我々は、今までMT systemの医学への応用として、健康診断の判定⁵⁾⁻⁷⁾や、肝疾患の診断⁷⁾⁻⁹⁾、さらに医療統計データからの病院ランキング¹⁰⁾に応用し報告してきた。今回我々は、単なる加算得点の集計による順位付けではなく、任意の成績の学生、成績上位の学生、および成績中位の学生を抽出して単位空間を作成し、他の学生のMT法での順位付けで、MT法の前述した特徴を生かした評価が可能か、その評価手順を試みた。

II. 対象と方法

1. Mahalanobis・Taguchi法, Recognition Taguchi法 及び両側Taguchi法とは

1) Mahalanobis・Taguchi法について

Mahalanobisの距離(D^2)を用いて逆行列を利用した方法⁹⁾で、単位空間で求めた対象の平均値が一般に「1」になることが特徴である。逆行列の計算精度が維持できる程度に項目間の多重共線

性がなく、各項目の標準偏差 $\sigma=0$ でない場合に使用できる。

2) Taguchi法 (3) : Recognition Taguchi法について
T法には、3種の方法¹¹⁾がある。T法 (1) は、単位空間が中央にある場合 (両側T法)、T法 (2) は、単位空間が片側にある場合 (片側T法)、T法 (3) は、標準signal-to-noise (SN) 比と余因子行列を利用する方法である。

T法 (3) は、RT法 (認識法) とも呼ばれており、信号の真値がない場合に用いる。たとえば火災の場合、ぼやや火事や大火事などの程度は真値が分からないので、項目ごとにデータを求めて、データごとのSN比と感度を求める。つぎに、両者からMT system中の、余因子行列を用いるMahalanobis・Taguchi Adjoint法を使って単位空間の D^2 を求める。そして、単位空間の D^2 と単位空間に属さないデータの D^2 を比較する方法である。

3) Taguchi法 (1) : 両側Taguchi法について

パターンの差による推定法¹¹⁾であり、結果が中央付近のデータを単位空間にとる。たとえば、経営利益や株価や降雨量などの場合、変化が安定している時のデータで単位空間を作成し、正負のどちらのデータも予測したい場合に用いる方法である。

4) 成績データの扱いについて

今回使用した成績データは、個人が特定できる項目は除外した状態で使用し、学内の倫理規定に沿った扱いを行った。

2. Mahalanobis・Taguchi法, およびRecognition Taguchi法を用いたMahalanobisの距離による順位 の検討

東京慈恵会医科大学医学部医学科学生97名の、24科目で1,040点満点の進級試験を行ったあと、従来通り加算得点により順位評価を行う。それとは別に、24科目で1,040点満点の結果を用い、MT法とRT法を用いて、学生毎に各々の方法の、 D^2 を計算し、 D^2 による順位評価が可能であるかの検討を行った。

1) Mahalanobis・Taguchi法によるMahalanobisの 距離の検討

MT法では、単位空間作成に項目 (科目) 数以上のデータ数が必要なため、24科目27学生を任意に抽出し、その27名の試験成績を単位空間作成のデータとした (Table 1)。そして、残り70名

Table 1. Results data of 27 students who used it for unit space making of MT method. The line shows ID number and examination subjects, and the row shows perfect score and student's data.

| No. ID | Perfect score | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Total Goal Average |
|--------|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|----|-----|--------|--------------------|
| | 24 | 73 | 66 | 20 | 39 | 78 | 24 | 36 | 60 | 59 | 53 | 59 | 20 | 60 | 67 | 48 | 27 | 8 | 29 | 32 | 45 | 65 | 40 | 1,040 | | | | |
| 1 | 67 | 19 | 73 | 62 | 19 | 30 | 67 | 24 | 33 | 50 | 52 | 47 | 57 | 20 | 52 | 61 | 42 | 25 | 8 | 7 | 29 | 28 | 36 | 61 | 38 | 940 | 90.38% | |
| 2 | 16 | 13 | 67 | 62 | 17 | 33 | 61 | 23 | 31 | 57 | 53 | 38 | 54 | 16 | 52 | 60 | 48 | 25 | 7 | 7 | 25 | 27 | 31 | 63 | 38 | 908 | 87.31% | |
| 3 | 53 | 9 | 63 | 59 | 19 | 33 | 62 | 21 | 30 | 53 | 49 | 47 | 56 | 14 | 47 | 62 | 48 | 24 | 8 | 7 | 23 | 25 | 36 | 60 | 38 | 893 | 85.87% | |
| 4 | 81 | 12 | 69 | 57 | 20 | 27 | 64 | 23 | 34 | 59 | 48 | 48 | 53 | 14 | 45 | 60 | 42 | 24 | 5 | 4 | 23 | 26 | 36 | 53 | 39 | 885 | 85.10% | |
| 5 | 40 | 16 | 66 | 62 | 19 | 20 | 65 | 24 | 33 | 50 | 45 | 47 | 57 | 17 | 47 | 56 | 45 | 21 | 8 | 8 | 25 | 26 | 31 | 56 | 34 | 878 | 84.42% | |
| 6 | 37 | 12 | 70 | 66 | 20 | 33 | 67 | 12 | 33 | 47 | 47 | 50 | 48 | 17 | 43 | 53 | 39 | 22 | 7 | 5 | 23 | 26 | 35 | 62 | 39 | 876 | 84.23% | |
| 7 | 24 | 9 | 69 | 59 | 17 | 31 | 58 | 24 | 34 | 41 | 43 | 44 | 52 | 17 | 40 | 61 | 45 | 25 | 3 | 8 | 28 | 27 | 28 | 58 | 38 | 859 | 82.60% | |
| 8 | 56 | 10 | 62 | 59 | 16 | 29 | 68 | 24 | 30 | 39 | 50 | 45 | 41 | 16 | 50 | 55 | 42 | 23 | 8 | 8 | 23 | 28 | 32 | 58 | 34 | 850 | 81.73% | |
| 9 | 8 | 15 | 66 | 58 | 15 | 26 | 61 | 24 | 30 | 45 | 50 | 41 | 44 | 17 | 51 | 59 | 41 | 23 | 7 | 5 | 25 | 25 | 28 | 59 | 34 | 849 | 81.63% | |
| 10 | 95 | 12 | 59 | 62 | 19 | 28 | 63 | 18 | 34 | 51 | 49 | 43 | 43 | 15 | 44 | 59 | 45 | 20 | 1 | 5 | 25 | 22 | 27 | 56 | 38 | 838 | 80.58% | |
| 11 | 73 | 13 | 72 | 60 | 15 | 19 | 67 | 17 | 34 | 51 | 54 | 40 | 47 | 13 | 36 | 56 | 45 | 23 | 8 | 7 | 29 | 13 | 31 | 55 | 32 | 837 | 80.48% | |
| 12 | 2 | 10 | 71 | 56 | 16 | 27 | 61 | 18 | 30 | 54 | 49 | 46 | 50 | 15 | 48 | 57 | 48 | 24 | 7 | 4 | 20 | 13 | 23 | 61 | 27 | 835 | 80.29% | |
| 13 | 87 | 15 | 62 | 66 | 14 | 23 | 64 | 24 | 27 | 41 | 48 | 41 | 47 | 16 | 48 | 59 | 45 | 25 | 5 | 8 | 20 | 21 | 27 | 58 | 31 | 835 | 80.29% | |
| 14 | 46 | 12 | 63 | 63 | 13 | 30 | 65 | 23 | 31 | 48 | 57 | 31 | 42 | 12 | 36 | 58 | 42 | 22 | 8 | 5 | 28 | 25 | 30 | 49 | 39 | 832 | 80.00% | |
| 15 | 72 | 15 | 59 | 63 | 17 | 20 | 66 | 20 | 30 | 46 | 47 | 36 | 52 | 19 | 43 | 59 | 45 | 19 | 3 | 7 | 17 | 21 | 27 | 61 | 35 | 827 | 79.52% | |
| 16 | 69 | 9 | 67 | 57 | 13 | 29 | 65 | 21 | 30 | 41 | 51 | 38 | 45 | 14 | 38 | 53 | 39 | 22 | 8 | 5 | 29 | 26 | 31 | 61 | 34 | 826 | 79.42% | |
| 17 | 93 | 8 | 62 | 53 | 18 | 29 | 66 | 21 | 34 | 47 | 45 | 41 | 45 | 10 | 44 | 54 | 45 | 25 | 7 | 4 | 17 | 22 | 34 | 58 | 36 | 825 | 79.33% | |
| 18 | 55 | 15 | 61 | 54 | 16 | 25 | 57 | 21 | 25 | 50 | 55 | 46 | 47 | 13 | 38 | 51 | 39 | 25 | 3 | 7 | 25 | 24 | 36 | 52 | 39 | 824 | 79.23% | |
| 19 | 51 | 15 | 59 | 58 | 16 | 28 | 60 | 21 | 31 | 47 | 46 | 38 | 48 | 16 | 48 | 55 | 42 | 19 | 7 | 8 | 23 | 23 | 21 | 60 | 33 | 822 | 79.04% | |
| 20 | 39 | 10 | 63 | 62 | 15 | 32 | 56 | 17 | 32 | 41 | 54 | 44 | 52 | 13 | 46 | 49 | 45 | 27 | 5 | 5 | 22 | 22 | 28 | 45 | 36 | 821 | 78.94% | |
| 21 | 97 | 9 | 66 | 63 | 16 | 29 | 56 | 23 | 33 | 44 | 46 | 37 | 47 | 14 | 39 | 54 | 42 | 23 | 4 | 4 | 23 | 22 | 30 | 56 | 40 | 820 | 78.85% | |
| 22 | 66 | 8 | 59 | 65 | 18 | 27 | 65 | 23 | 28 | 39 | 46 | 32 | 45 | 16 | 44 | 61 | 42 | 23 | 7 | 7 | 19 | 27 | 29 | 50 | 38 | 818 | 78.65% | |
| 23 | 42 | 16 | 59 | 60 | 15 | 30 | 56 | 20 | 31 | 41 | 42 | 42 | 36 | 15 | 42 | 56 | 45 | 22 | 7 | 8 | 29 | 22 | 33 | 55 | 34 | 816 | 78.46% | |
| 24 | 32 | 14 | 63 | 59 | 17 | 26 | 60 | 21 | 31 | 39 | 51 | 38 | 45 | 13 | 41 | 52 | 45 | 25 | 4 | 7 | 22 | 18 | 26 | 59 | 34 | 810 | 77.88% | |
| 25 | 36 | 17 | 66 | 63 | 14 | 25 | 57 | 18 | 33 | 40 | 45 | 34 | 46 | 16 | 36 | 58 | 44 | 22 | 3 | 7 | 25 | 22 | 21 | 58 | 37 | 807 | 77.60% | |
| 26 | 35 | 11 | 61 | 62 | 17 | 23 | 64 | 21 | 26 | 38 | 47 | 38 | 51 | 15 | 39 | 55 | 45 | 21 | 6 | 8 | 20 | 20 | 24 | 59 | 32 | 803 | 77.21% | |
| 27 | 38 | 18 | 63 | 62 | 15 | 19 | 57 | 15 | 25 | 47 | 45 | 47 | 49 | 8 | 40 | 55 | 42 | 23 | 5 | 7 | 23 | 15 | 27 | 61 | 32 | 800 | 76.92% | |

Table 2. Results data of 4 students who used it for unit space making of RT method. The line shows ID number and examination subjects, and the row shows perfect score and student's data.

| Perfect score | 24 | 73 | 66 | 20 | 39 | 78 | 24 | 36 | 60 | 59 | 53 | 59 | 20 | 60 | 67 | 48 | 27 | 8 | 8 | 29 | 32 | 45 | 65 | 40 | 1,040 | | |
|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|----|-------|-------|--------------|
| No | ID | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T | U | V | W | X | Total | Goal average |
| 1 | 67 | 19 | 73 | 62 | 19 | 30 | 67 | 24 | 33 | 50 | 52 | 47 | 57 | 20 | 52 | 61 | 42 | 25 | 8 | 7 | 29 | 28 | 36 | 61 | 38 | 940 | 90.38% |
| 2 | 16 | 13 | 67 | 62 | 17 | 33 | 61 | 23 | 31 | 57 | 53 | 38 | 54 | 16 | 52 | 60 | 48 | 25 | 7 | 7 | 25 | 27 | 31 | 63 | 38 | 908 | 87.31% |
| 3 | 53 | 9 | 63 | 59 | 19 | 33 | 62 | 21 | 30 | 53 | 49 | 47 | 56 | 14 | 47 | 62 | 48 | 24 | 8 | 7 | 23 | 25 | 36 | 60 | 38 | 893 | 85.87% |
| 4 | 81 | 12 | 69 | 57 | 20 | 27 | 64 | 23 | 34 | 59 | 48 | 48 | 53 | 14 | 45 | 60 | 42 | 24 | 5 | 4 | 23 | 26 | 36 | 53 | 39 | 885 | 85.10% |

Table 3. Results data of 15 students who used it for unit space making of the two sided T method. The line shows ID number and examination subjects, and the row shows perfect score and student's data.

| Perfect score | Perfect score | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Total | Goal average | |
|---------------|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|----|-------|--------------|--------|
| | 24 | 73 | 66 | 20 | 39 | 78 | 24 | 36 | 60 | 59 | 53 | 59 | 20 | 60 | 67 | 48 | 27 | 8 | 8 | 29 | 32 | 45 | 65 | 40 | | | 1,040 |
| No | ID | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T | U | V | W | X | | |
| 1 | 22 | 8 | 63 | 62 | 15 | 32 | 50 | 15 | 33 | 35 | 47 | 41 | 39 | 11 | 51 | 55 | 42 | 21 | 7 | 4 | 22 | 16 | 25 | 49 | 26 | 769 | 73.94% |
| 2 | 28 | 5 | 56 | 52 | 16 | 25 | 61 | 20 | 29 | 38 | 51 | 40 | 45 | 8 | 40 | 54 | 41 | 25 | 4 | 5 | 23 | 20 | 28 | 52 | 29 | 767 | 73.75% |
| 3 | 47 | 5 | 66 | 55 | 14 | 29 | 50 | 22 | 24 | 50 | 40 | 44 | 44 | 13 | 38 | 50 | 39 | 22 | 1 | 7 | 19 | 19 | 30 | 50 | 34 | 765 | 73.56% |
| 4 | 76 | 13 | 53 | 61 | 11 | 25 | 51 | 24 | 30 | 46 | 45 | 27 | 45 | 12 | 39 | 45 | 42 | 26 | 3 | 5 | 22 | 21 | 23 | 57 | 37 | 763 | 73.37% |
| 5 | 21 | 8 | 59 | 43 | 12 | 26 | 62 | 20 | 32 | 56 | 45 | 49 | 38 | 16 | 36 | 53 | 41 | 20 | 1 | 5 | 23 | 18 | 25 | 49 | 24 | 761 | 73.17% |
| 6 | 80 | 9 | 60 | 48 | 15 | 31 | 68 | 20 | 29 | 45 | 51 | 42 | 45 | 8 | 23 | 55 | 38 | 21 | 4 | 5 | 25 | 16 | 26 | 47 | 29 | 760 | 73.08% |
| 7 | 65 | 14 | 62 | 56 | 16 | 25 | 50 | 24 | 31 | 37 | 41 | 34 | 40 | 17 | 32 | 54 | 38 | 24 | 4 | 8 | 20 | 20 | 32 | 49 | 31 | 759 | 72.98% |
| 8 | 75 | 7 | 57 | 60 | 19 | 26 | 48 | 21 | 32 | 47 | 48 | 38 | 41 | 10 | 39 | 48 | 45 | 25 | 1 | 4 | 22 | 18 | 21 | 55 | 27 | 759 | 72.98% |
| 9 | 57 | 8 | 65 | 55 | 13 | 22 | 54 | 21 | 27 | 49 | 50 | 34 | 34 | 12 | 40 | 46 | 41 | 21 | 5 | 8 | 25 | 18 | 30 | 44 | 36 | 758 | 72.88% |
| 10 | 94 | 8 | 65 | 58 | 15 | 20 | 58 | 24 | 32 | 35 | 40 | 36 | 46 | 6 | 45 | 49 | 39 | 25 | 4 | 4 | 20 | 18 | 26 | 55 | 30 | 758 | 72.88% |
| 11 | 50 | 9 | 47 | 59 | 10 | 25 | 61 | 20 | 29 | 40 | 48 | 53 | 45 | 9 | 34 | 57 | 39 | 19 | 6 | 5 | 19 | 19 | 16 | 53 | 35 | 757 | 72.79% |
| 12 | 82 | 8 | 56 | 60 | 17 | 25 | 64 | 21 | 28 | 34 | 50 | 33 | 42 | 12 | 41 | 42 | 39 | 26 | 8 | 8 | 25 | 16 | 21 | 49 | 32 | 757 | 72.79% |
| 13 | 3 | 6 | 59 | 54 | 14 | 29 | 49 | 18 | 30 | 50 | 46 | 34 | 36 | 13 | 38 | 49 | 45 | 19 | 1 | 7 | 20 | 17 | 25 | 59 | 34 | 752 | 72.31% |
| 14 | 85 | 12 | 56 | 48 | 13 | 32 | 59 | 21 | 28 | 30 | 49 | 43 | 30 | 15 | 40 | 54 | 42 | 23 | 4 | 7 | 22 | 16 | 26 | 53 | 29 | 752 | 72.31% |
| 15 | 14 | 10 | 64 | 54 | 17 | 22 | 61 | 24 | 34 | 41 | 37 | 34 | 38 | 12 | 34 | 42 | 36 | 25 | 5 | 5 | 25 | 20 | 27 | 53 | 32 | 752 | 72.31% |

Table 4. The results data of 6 students whom mark order and the mark estimate intended for. The line shows ID number and examination subjects, and the row shows perfect score and student's data.

| Perfect score | | | | | | | | | | | | | | | Total | Goal average | | | | | | | | | | |
|---------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|--------------|----|---|---|----|----|----|----|----|-------|--------|
| | No | ID | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | | | M | N | O | P | Q | R | S | T | U | V |
| | 24 | 73 | 66 | 20 | 39 | 78 | 24 | 36 | 60 | 59 | 53 | 59 | 20 | 60 | 67 | 48 | 27 | 8 | 8 | 29 | 32 | 45 | 65 | 40 | 1,040 | |
| 1 | 10 | 10 | 55 | 17 | 29 | 49 | 16 | 20 | 41 | 42 | 31 | 39 | 8 | 30 | 39 | 34 | 16 | 3 | 4 | 23 | 14 | 20 | 60 | 31 | 686 | 65.96% |
| 2 | 45 | 12 | 62 | 15 | 10 | 60 | 13 | 24 | 45 | 41 | 21 | 36 | 11 | 32 | 46 | 39 | 10 | 3 | 6 | 17 | 18 | 18 | 52 | 25 | 676 | 65.00% |
| 3 | 89 | 11 | 58 | 55 | 14 | 15 | 50 | 24 | 22 | 33 | 40 | 34 | 7 | 34 | 47 | 30 | 17 | 1 | 7 | 22 | 13 | 23 | 54 | 28 | 676 | 65.00% |
| 4 | 24 | 9 | 69 | 59 | 17 | 31 | 58 | 24 | 34 | 41 | 43 | 44 | 17 | 40 | 61 | 45 | 25 | 3 | 8 | 28 | 27 | 28 | 58 | 38 | 859 | 82.60% |
| 5 | 56 | 10 | 62 | 59 | 16 | 29 | 68 | 24 | 30 | 39 | 50 | 45 | 16 | 50 | 55 | 42 | 23 | 8 | 8 | 23 | 28 | 32 | 58 | 34 | 850 | 81.73% |
| 6 | 8 | 15 | 66 | 58 | 15 | 26 | 61 | 24 | 30 | 45 | 50 | 41 | 17 | 51 | 59 | 41 | 23 | 7 | 5 | 25 | 25 | 28 | 59 | 34 | 849 | 81.63% |

の学生の D^2 による成績順位を検討した。

2) Recognition Taguchi法によるMahalanobisの距離の検討

RT法では、MT法に比べ単位空間のデータ数が少なくてもよいのが特徴であり、また単位空間に必要なデータ数は余因子行列の自由度から3データが下限である。単位空間データは分布の端であればよいので自由度の下限を考慮し、最高得点940点（得点率90.38%）から得点885点（得点率85.10%）までの得点率85%以上の、最上位の学生4名のデータ（Table 2）で単位空間を作成した。

3. 両側Taguchi法による「±」の符号による成績順位の検討

一般に単位空間より D^2 値が大きくなるほど、成績は上位か、下位といえる。そのため両側T法では「±」の符号を付ける事による成績の上位「+」・下位「-」の区別が可能かの検討を行った。1,040点満点で採点した結果、最頻値が760点のため、±10点の学生を平均的として15名抽出し、単位空間作成のデータに用いた（Table 3）。検討対象として、合計点数の中央値（=平均値）の760点に対し、860点前後3名と660点前後3名の、計6名を選んだ（Table 4）。

4. 両側Taguchi法による学生成績点数の推定

成績の点数（対数）が推定可能かを検討した。明らかに点数が判明している学生の成績（教師信号）は、総得点数の最上位が940点（得点率90.38%）、最下位が471点（得点率45.29%）で、合計76名であった（Table 5）。この学生76名の点数の挙動を学習信号として用い、76名の対数値を手掛かりにして、前項で抽出した6名の学生の成績点数（対数）の推定を行った。

5. 計算方法

検討には、オーケン製MTシステム1、MT法およびT法・RT法（Excel版）を用いた。また、試験点数はある範囲内では加法性が存在するものの、点数自体には上限があることから無限に加法性が認められるのではないため、両側Taguchi法による推定では $-\infty$ から $+\infty$ になるよう対数値とした。またこれは試験点数が目的変数となるため、目的変数の線形性を対数値にすることで改善をし、結果的に推定精度の向上を期待していることも理由である。

III. 結 果

1. Mahalanobis・Taguchi法によるMahalanobisの距離の検討

MT法では、24科目27学生で単位空間を作成し、残り70名の学生の D^2 による成績順位を検討した。その結果、加算得点との相関係数は -0.551 であった（Table 6）。

2. Recognition Taguchi法によるMahalanobisの距離の検討

つぎにRT法を用いた。得点率85%以上の最上位学生4名で単位空間を作成し、残り93名の学生の D^2 による成績順位を検討した。Table 7に93名の成績データを、Table 8に、MT法とRT法による相関係数のまとめを示す。計算した結果、 D^2 は非常に大きい値であったため単位空間の平均値で正規化を行い（A）、加算得点Bとの相関係数を計算すると -0.927 と負の相関であった。このBの逆数 $1/B$ とAの相関係数は 0.933 と高い値であった。LogBとAの相関係数は、Table 7に示すように、 -0.835 、 $1/\text{Log}B$ とAでは 0.936 と向上した。

3. 両側Taguchi法による「±」の符号による順位の検討

「±」の符号を付けることによる成績の上位・下位の区別が可能か、その識別性の推定精度のSN比は 43.5830db と高く、また6名の順位は、加算スコア順に表示した。加算順位で、1, 2, 3, 4, 5, 5位であったが、両側T法の「±」の符号による順位は、1, 2, 3, 5, 4, 6位の順であった。加算順位の順位の下位2名の5位が同点であるが、加算順位と両側T法の「±」の符号による順位とでは、加算順位の同点である5位が区別された。（Table 9）。

4. 両側Taguchi法による学生点数の推定

推定点数の検討では、学生6名の加算得点をCとする。直接の差分推定値は、対数で、 -0.0481 から $+0.0598$ であった（Table 10）。これに平均値（対数値）を加え推定点数とし、その後1,040点満点の実数に換算すると、通常の推定点数になる（C'）。そして、実際の加算点数Cと推定結果C'との差が、いわゆる推定誤差（ $C-C'$ ）/1,040になる。推定誤差の点数は低い方で、 -4.6 点であるが、高い方で、 $+12.3$ 点と低い方に比べやや大きくなるが、1,040点満点であることを考慮すればどちら

Table 6. Correlation of order by additive score **B** and the order by the D^2 level of 70 students using MT method. ($R=-0.551$)

| D^2 of MT | Order by D^2 | Additive score B | Order by additive score |
|-------------|----------------|-------------------------|-------------------------|
| 185.3098972 | 1 | 688 | 60 |
| 160.0150464 | 2 | 471 | 70 |
| 155.7132346 | 3 | 629 | 65 |
| 128.1400479 | 4 | 730 | 40 |
| 123.8162483 | 5 | 676 | 62 |
| 91.56811051 | 6 | 639 | 64 |
| 91.45851192 | 7 | 707 | 52 |
| 89.08130759 | 8 | 527 | 69 |
| 81.75745877 | 9 | 704 | 54 |
| 80.75748935 | 10 | 536 | 68 |
| 80.35899741 | 11 | 757 | 27 |
| 72.56396797 | 12 | 700 | 56 |
| 70.26254903 | 13 | 769 | 17 |
| 66.75936223 | 14 | 731 | 39 |
| 65.94217983 | 15 | 707 | 53 |
| 59.91184405 | 16 | 780 | 11 |
| 55.19522780 | 17 | 712 | 50 |
| 52.84208394 | 18 | 759 | 24 |
| 52.23910933 | 19 | 676 | 63 |
| 50.77316261 | 20 | 741 | 35 |
| 48.53777631 | 21 | 738 | 37 |
| 41.04408457 | 22 | 763 | 20 |
| 40.50826801 | 23 | 746 | 33 |
| 39.39221210 | 24 | 759 | 23 |
| 37.99076916 | 25 | 695 | 59 |
| 37.33240191 | 26 | 757 | 28 |
| 35.58023772 | 27 | 772 | 14 |
| 35.42089105 | 28 | 609 | 66 |
| 34.82028283 | 29 | 765 | 19 |
| 34.03220103 | 30 | 695 | 57 |
| 32.82496328 | 31 | 786 | 6 |
| 32.54177146 | 32 | 758 | 25 |
| 30.43505598 | 33 | 722 | 45 |
| 29.47423275 | 34 | 734 | 38 |
| 28.02542847 | 35 | 775 | 12 |
| 26.49930027 | 36 | 695 | 58 |
| 26.06131210 | 37 | 785 | 7 |
| 25.21454424 | 38 | 720 | 47 |
| 24.50040297 | 39 | 746 | 32 |
| 23.67982593 | 40 | 580 | 67 |
| 22.75692652 | 41 | 794 | 4 |
| 19.70180874 | 42 | 740 | 36 |
| 19.59587744 | 43 | 773 | 13 |
| 19.20341897 | 44 | 708 | 51 |
| 18.86013144 | 45 | 704 | 55 |
| 18.83362186 | 46 | 686 | 61 |
| 18.79636243 | 47 | 720 | 48 |
| 18.39682667 | 48 | 752 | 31 |
| 18.32588804 | 49 | 782 | 9 |
| 17.35635254 | 50 | 752 | 29 |
| 17.17281316 | 51 | 729 | 41 |
| 17.01216580 | 52 | 797 | 3 |
| 16.14164704 | 53 | 760 | 22 |
| 15.94121433 | 54 | 758 | 26 |
| 15.76783198 | 55 | 799 | 2 |
| 15.46172482 | 56 | 728 | 42 |
| 14.59033057 | 57 | 785 | 8 |
| 14.26371765 | 58 | 725 | 44 |
| 14.08950390 | 59 | 767 | 18 |
| 12.86887642 | 60 | 728 | 43 |
| 11.59636167 | 61 | 761 | 21 |
| 9.262777201 | 62 | 714 | 49 |
| 8.882958390 | 63 | 771 | 15 |
| 8.777857768 | 64 | 743 | 34 |
| 8.244602761 | 65 | 770 | 16 |
| 7.728296042 | 66 | 780 | 10 |
| 6.122167210 | 67 | 800 | 1 |
| 5.425351603 | 68 | 752 | 30 |
| 5.420823493 | 69 | 790 | 5 |
| 5.042015227 | 70 | 720 | 46 |

Table 7. The details of correlation with additive score B and normalized value A of the D² level order of 93 students using RT method.

| ID | Order by additive score B | D ² | Normalized Value A of normalized value A / MD | Order by additive score B | 1/B | Log B | 1/Log B | Order by B | 1/Log B | Log B | 1/Log B | Order by B |
|----|---------------------------|----------------|---|---------------------------|---------|-------------|-------------|-------------|---------|---------|---------|------------|
| | score B | | MD | value A | R=0.927 | R=0.835 | R=0.936 | R=0.927 | R=0.835 | R=0.936 | R=0.927 | Order by B |
| | | | | | | | | | | | | Order by B |
| | | | | | | | | | | | | Order by B |
| 17 | 93 | 5.41898E+16 | 19.96380577 | 1 | 471 | 0.002123142 | 2.673020907 | 0.374108559 | 1 | 1/Log B | 93 | 48 |
| 23 | 91 | 4.76377E+16 | 17.54702782 | 2 | 527 | 0.001865733 | 2.721810615 | 0.367402491 | 2 | 1/Log B | 49 | 45 |
| 1 | 91 | 4.68896E+16 | 17.27122801 | 3 | 536 | 0.001895672 | 2.729164790 | 0.366412466 | 3 | 1/Log B | 50 | 44 |
| 53 | 89 | 3.01918E+16 | 11.25094815 | 4 | 609 | 0.001724138 | 2.763427394 | 0.361866389 | 4 | 1/Log B | 51 | 43 |
| 48 | 89 | 3.07056E+16 | 11.25093721 | 4 | 609 | 0.001642038 | 2.784617293 | 0.359115776 | 5 | 1/Log B | 52 | 42 |
| 86 | 88 | 2.70936E+16 | 9.981497045 | 5 | 629 | 0.001589825 | 2.798650645 | 0.357135923 | 6 | 1/Log B | 53 | 41 |
| 61 | 87 | 3.65914E+16 | 13.47819122 | 5 | 639 | 0.001569495 | 2.805080558 | 0.356425983 | 7 | 1/Log B | 54 | 40 |
| 45 | 85 | 3.14486E+16 | 11.98387994 | 6 | 676 | 0.001479200 | 2.82946686 | 0.353635646 | 8 | 1/Log B | 55 | 39 |
| 89 | 86 | 2.40284E+16 | 8.850689828 | 12 | 676 | 0.001479200 | 2.82946686 | 0.353635646 | 8 | 1/Log B | 56 | 38 |
| 10 | 84 | 2.37437E+16 | 8.745827968 | 15 | 686 | 0.001457220 | 2.83652412 | 0.352960015 | 10 | 1/Log B | 57 | 37 |
| 41 | 83 | 2.39542E+16 | 8.413090936 | 9 | 695 | 0.001453488 | 2.837593446 | 0.352919241 | 11 | 1/Log B | 58 | 36 |
| 26 | 80 | 1.94477E+16 | 6.188275026 | 11 | 685 | 0.001438849 | 2.841984805 | 0.351866765 | 12 | 1/Log B | 59 | 35 |
| 7 | 81 | 1.98982E+16 | 7.20596222 | 25 | 695 | 0.001438849 | 2.841984805 | 0.351866765 | 13 | 1/Log B | 60 | 34 |
| 84 | 82 | 1.91506E+16 | 6.939828398 | 18 | 695 | 0.001438849 | 2.841984805 | 0.351866765 | 14 | 1/Log B | 61 | 33 |
| 62 | 79 | 2.36841E+16 | 7.16505138 | 16 | 700 | 0.001428571 | 2.845098040 | 0.351481737 | 15 | 1/Log B | 62 | 32 |
| 44 | 77 | 2.32424E+16 | 6.591309145 | 17 | 704 | 0.001420455 | 2.84752659 | 0.351176289 | 16 | 1/Log B | 63 | 31 |
| 4 | 78 | 2.09955E+16 | 6.473971372 | 32 | 704 | 0.001420455 | 2.84752659 | 0.351176289 | 17 | 1/Log B | 64 | 30 |
| 60 | 75 | 2.09955E+16 | 6.730557046 | 32 | 707 | 0.001414427 | 2.849419414 | 0.350948686 | 18 | 1/Log B | 65 | 29 |
| 86 | 76 | 1.94707E+16 | 7.14234603 | 26 | 707 | 0.001414427 | 2.849419414 | 0.350948686 | 19 | 1/Log B | 66 | 28 |
| 96 | 74 | 1.38290E+16 | 5.130657871 | 55 | 708 | 0.001412429 | 2.850033258 | 0.350879089 | 20 | 1/Log B | 67 | 27 |
| 9 | 73 | 2.50394E+16 | 8.23082438 | 10 | 712 | 0.001404494 | 2.852919984 | 0.35057135 | 21 | 1/Log B | 68 | 26 |
| 20 | 72 | 1.47437E+16 | 5.420604991 | 49 | 714 | 0.001405660 | 2.85388212 | 0.350422478 | 22 | 1/Log B | 69 | 25 |
| 6 | 71 | 1.76750E+16 | 5.10466479 | 30 | 720 | 0.001388889 | 2.857324296 | 0.349916771 | 23 | 1/Log B | 70 | 24 |
| 59 | 69 | 1.75921E+16 | 5.046819228 | 34 | 720 | 0.001388889 | 2.857324296 | 0.349916771 | 24 | 1/Log B | 71 | 23 |
| 31 | 70 | 1.61715E+16 | 5.956650321 | 43 | 720 | 0.001388889 | 2.857324296 | 0.349916771 | 25 | 1/Log B | 72 | 22 |
| 15 | 68 | 2.02837E+16 | 7.471357340 | 24 | 722 | 0.001385042 | 2.868537188 | 0.349829277 | 26 | 1/Log B | 73 | 21 |
| 92 | 67 | 1.63074E+16 | 6.006714397 | 42 | 725 | 0.001379310 | 2.860338007 | 0.349690931 | 27 | 1/Log B | 74 | 20 |
| 27 | 65 | 1.69486E+16 | 6.242913221 | 38 | 728 | 0.001373826 | 2.862131379 | 0.349389971 | 28 | 1/Log B | 75 | 19 |
| 71 | 66 | 1.52201E+16 | 5.606240409 | 46 | 728 | 0.001373826 | 2.862131379 | 0.349389971 | 29 | 1/Log B | 76 | 18 |
| 91 | 64 | 2.11267E+16 | 7.781889185 | 19 | 729 | 0.001371742 | 2.86272528 | 0.349317212 | 30 | 1/Log B | 77 | 17 |
| 83 | 63 | 2.38996E+16 | 8.802325555 | 13 | 730 | 0.001369683 | 2.863228060 | 0.349244864 | 31 | 1/Log B | 78 | 16 |
| 30 | 62 | 2.05543E+16 | 7.57102908 | 21 | 731 | 0.001367989 | 2.863917377 | 0.349172084 | 32 | 1/Log B | 79 | 15 |
| 5 | 61 | 1.93070E+16 | 5.27860688 | 52 | 734 | 0.001362298 | 2.865686060 | 0.348955360 | 33 | 1/Log B | 80 | 14 |
| 52 | 60 | 1.70726E+16 | 5.095971668 | 31 | 738 | 0.001355914 | 2.868056362 | 0.348668183 | 34 | 1/Log B | 81 | 13 |
| 64 | 59 | 1.32156E+16 | 4.807945438 | 59 | 748 | 0.001351551 | 2.869231720 | 0.348523394 | 35 | 1/Log B | 82 | 12 |
| 19 | 58 | 2.13585E+16 | 7.806513828 | 18 | 741 | 0.001348528 | 2.869818208 | 0.348454728 | 36 | 1/Log B | 83 | 11 |
| 77 | 57 | 2.05141E+16 | 7.55622898 | 22 | 741 | 0.001348528 | 2.869818208 | 0.348454728 | 37 | 1/Log B | 84 | 10 |
| 25 | 56 | 1.63288E+16 | 6.014587972 | 41 | 746 | 0.001340483 | 2.872738827 | 0.348312050 | 38 | 1/Log B | 85 | 9 |
| 18 | 55 | 1.61482E+16 | 5.947331940 | 44 | 746 | 0.001340483 | 2.872738827 | 0.348312050 | 39 | 1/Log B | 86 | 8 |
| 85 | 53 | 1.82595E+16 | 6.57264061 | 29 | 752 | 0.001329787 | 2.878217841 | 0.347678811 | 40 | 1/Log B | 87 | 7 |
| 14 | 54 | 1.74782E+16 | 6.437255625 | 35 | 752 | 0.001329787 | 2.878217841 | 0.347678811 | 41 | 1/Log B | 88 | 6 |
| 3 | 52 | 1.52165E+16 | 5.604889108 | 47 | 752 | 0.001329787 | 2.878217841 | 0.347678811 | 42 | 1/Log B | 89 | 5 |
| 82 | 51 | 1.75696E+16 | 6.471290044 | 33 | 757 | 0.001321004 | 2.879056880 | 0.347633260 | 43 | 1/Log B | 90 | 4 |
| 50 | 50 | 1.23163E+16 | 4.536639412 | 61 | 757 | 0.001321004 | 2.879056880 | 0.347633260 | 44 | 1/Log B | 91 | 3 |
| 94 | 49 | 1.58278E+16 | 5.830048514 | 45 | 758 | 0.001319261 | 2.879669206 | 0.347265108 | 45 | 1/Log B | 92 | 2 |
| 57 | 48 | 1.47297E+16 | 4.55881529 | 50 | 758 | 0.001319261 | 2.879669206 | 0.347265108 | 46 | 1/Log B | 93 | 1 |
| 73 | 47 | 1.94504E+16 | 7.157059588 | 27 | 759 | 0.001317523 | 2.880241776 | 0.347193075 | 47 | 1/Log B | | |

Table 8. Results of correlation level with additive score B and normalized value A of the D^2 level order using MT method and RT method.

| Method | Number of students | D^2 | Additive score B | Coefficient of correlation |
|--------|--------------------|-------------------------------|--------------------|----------------------------|
| MT | 70 | D^2 | B | - 0.551 |
| RT | 93 | D^2 | B | 0.800 |
| RT | 93 | Normalized value A of D^2 | B | - 0.927 |
| RT | 93 | Normalized value A of D^2 | $1/B$ | 0.933 |
| RT | 93 | Normalized value A of D^2 | $\text{Log } B$ | - 0.835 |
| RT | 93 | Normalized value A of D^2 | $1/\text{Log } B$ | 0.936 |

Table 9. The additive score C , additive score order and mark of \pm order of six students using two sided T method.

| ID | Additive score C | Additive score order | Estimated mark for difference (Logarithm) | Mark of \pm order |
|------------------|--------------------|----------------------|---|---------------------|
| 24 | 859 | 1 | 0.0598 | 1 |
| 56 | 850 | 2 | 0.0546 | 2 |
| 8 | 849 | 3 | 0.0533 | 3 |
| 10 | 686 | 4 | - 0.0470 | 5 |
| 45 | 676 | 5 | - 0.0435 | 4 |
| 89 | 676 | 5 | - 0.0481 | 6 |
| SN ratio [db] | | | 43.5830 | |
| Sensitivity [db] | | | - 0.00091 | |

も問題はないと考える。

IV. 考 察

MT法での順位は、加算得点との間には有意な相関関係は認めなかった。II章2.1)で述べたように単位空間データとして任意に27名の学生を選択しているが、単位空間とは目的に対して類似した性質を持つデータ集団であり、同じような得点を出す学生を選択する限りにおいては同様の結果が得られると考える。しかしながら、単位空間を構成する平均的な点数を保持する学生について、そのメンバーの個人差により項目間の相関関係の変動が起り得るため、単位空間として抽出したデータの相違により結果の詳細な数値が変わることがあるが、基準とした単位空間と対象との傾向は変化しないといえる。またRT法では加算得点の対数の逆数で相関係数は0.936ともっとも高く、正の相関関係を認めた。しかしながら、今回加算得点による順位との間に完全な一致を認めなかった。この理由として、MTシステムでは、各科目の得点間の相関関係で評価するため、成績が、掛け算の関係で評価され、科目点数に重みがかけられたためと思われる。したがって、従来の、科目ごとの点数の単なる加算による集計結果に比べて、点数の差が数倍大きく評価可能である。また逆に、加算点数と D^2 の順位間の相関関係が完

全に一致した場合は、わざわざ計算して D^2 による順位を検討する必要性が認められなくなる。したがって、相関関係の差の分に、何らかの要因が加味されており、この要因に学生の努力の成果が反映されないか期待される。この要因の解析には、たとえば、日常の学生の勉強時間等のデータも必要と思われ、今後引き続いて検討を継続する予定である。

今回用いたMT systemでは、MT法では順位付けは無理と思われるが、RT法では、学生の努力を含めての順位付けに期待が持てる。また両側T法による「±」の符号による検討では、6名と学生数は少ないが、加算得点の高い3名では、順位付けが一致し点数の推定誤差は少なく、また、加算順位の低い点数の3名の誤差も1%前後であり、いずれも推定誤差は低いと言える。これは43.5830dbというSN比により担保される精度である。

また、点数の推定に関しては、推定点数と加算得点との一致度が問題となる。低い点数では推定誤差は0.35%から1.04%と少なく、高い点数でも0.91%から1.18%と少なかった。さらに多くの学生の推定を行うためには、対象学生を抽出して76名より教師信号を減らすと、推定精度が落ちると思われるため、今後全体の学生数を増やしての検討が必要であろう。

Table 10. The estimated mark and estimated error of six students using two sided T method.

| ID | Additive score C | Estimated mark for difference (Logarithm) | Estimated mark (Logarithm) | Estimated mark (Reduced value) C' | Estimated error $C' - C$ | Estimated error (Abs) % $(C' - C) / 1,040$ |
|----|-----------------------|--|-------------------------------|---|-----------------------------|--|
| 24 | 859 | 0.0598 | 2.9402 | 871.3 | 12.3 | 1.18 |
| 56 | 850 | 0.0546 | 2.9349 | 860.9 | 10.9 | 1.05 |
| 8 | 849 | 0.0533 | 2.9337 | 858.4 | 9.4 | 0.91 |
| 10 | 686 | -0.0470 | 2.8334 | 681.4 | -4.6 | 0.44 |
| 45 | 676 | -0.0435 | 2.8369 | 686.9 | 10.9 | 1.04 |
| 89 | 676 | -0.0481 | 2.8323 | 679.6 | 3.6 | 0.35 |

V. 結 語

MT法, RT法および両側T法での D^2 による順位評価を検討した. その結果, RT法での D^2 による順位評価は, 従来の点数の加算的集計による順位評価と相関関係を認め, 新しい評価手順となる可能性が示唆された. また両側T法による順位評価では, 加算的な集計とは別に得点を推定することが可能であることが明らかとなった.

なお, この内容は, 私立大学情報教育協会主催の平成23年度教育改革ICT戦略大会で発表した.

文 献

- 1) 沢茂 編. 教育の方法と技術. 東京: 図書文化社; 2006.
- 2) 田口玄一. 診断とSN比. 品質工学 1994;2:2-4.
- 3) 高田 圭, 高橋和仁, 矢野 宏. ソフトウェア作成能力のアンケートによる予測へのMTS法の適用. 品質工学 1999;7:65-72.
- 4) 鈴木隆之, 高田 圭, 高橋宗雄, 矢野 宏. MTS法に基づくプログラム作成能力評価の一手法. 品質工学 2000;8:445-52.
- 5) 中島尚登, 高田 圭, 矢野 宏, 高木一郎, 柴本由香, 山内眞義, ほか. Mahalanobis・Taguchi System法による健康診断の予測的評価と効率化. 日公衛誌 1999;46:351-63
- 6) 中島尚登, 高田 圭, 矢野 宏, 柴本由香, 高木一郎, 山内眞義, ほか. 健康診断データを用いたMTS法による予測の研究. 品質工学 1999;7:49-57.
- 7) 中島尚登, 高田 圭, 矢野 宏, 矢野耕也, 高木一郎, 大畑 充, ほか. MT法による健康状態の予測と健康診断の経費削減について. 品質工学 2004;12:63-72.
- 8) 中島尚登, 矢野耕也, 高田 圭, 高木一郎, 小宮佐和子, 大畑 充, ほか. 各種肝疾患に対するマハラノビスの距離による病態評価. 品質工学 2004;12:51-5.
- 9) 中島尚登, 矢野耕也, 高木一郎, 小宮佐和子, 武田邦彦, 上竹慎一郎, ほか. MT法を用いた肝移植のための肝炎劇症化の予知の検討. 品質工学 2006;14:58-63.
- 10) 中島尚登, 矢野耕也, 長澤薫子, 安部一之, 上竹慎一郎, 高木一郎, ほか. Diagnosis procedure combination参加病院・準備病院のMahalanobisの距離を用いたランキングー東京慈恵会医科大学附属病院を例としてー. 慈恵医大誌 2011;126:111-33.
- 11) 品質工学会 [Internet]. 品質工学とは? 品質工学Q&A MTS法. http://www.qes.gr.jp/introduction/whatqe_qa/QA3.htm. [accessed 2011-10-07]